

BIM E DIGITAL TWIN A SUPPORTO DELL’ASSET MANAGEMENT DI INFRASTRUTTURE IDRICHE: STATO DELL’ARTE E APPLICAZIONI

Eliana Mello*, Carla Di Biccari**, Manuela Marra***, Giuseppe Starace*

*Dipartimento di Ingegneria, Università LUM ‘Giuseppe Degennaro’, 70010 Casamassima, BA: mello.adr@lum.it, starace@lum.it

**Dipartimento di Ingegneria, Università del Salento, 73100 Lecce, LE; carla.dibiccari@unisalento.it

***I-am srl, via Benigno Crespi 24, 20159 Milano (MI): mmarra@alteanet.it

SOMMARIO

La convergenza tra tecnologie innovative ed il mondo Architettura, Ingegneria e Costruzioni (AEC) riveste un ruolo sempre più centrale nell’evoluzione del settore dell’*Asset Management*. In un contesto in cui l’efficienza, la sostenibilità e la gestione ottimizzata delle risorse sono priorità fondamentali, le tecnologie avanzate si configurano come strumenti indispensabili per soddisfare le esigenze complesse della gestione del costruito. Società di gestione immobili ed enti gestori di infrastrutture, abbracciando le tecnologie emergenti come l’Internet of Things (IoT), l’intelligenza artificiale (IA), la blockchain e l’analisi dei dati, possono trasformare radicalmente l’approccio tradizionale alla gestione degli *asset*. L’implementazione di sensori e dispositivi connessi consente la raccolta di dati in tempo reale, fornendo una panoramica dettagliata sullo stato degli *asset* e permettendo interventi tempestivi di manutenzione predittiva. Tuttavia, l’adozione efficace delle tecnologie digitali è ancora limitata da numerose barriere, come, per esempio, la poca familiarità degli operatori del settore con casi d’uso applicativi e dei relativi benefici. In questo contesto si colloca il seguente lavoro di ricerca dell’Università LUM “Giuseppe Degennaro” in collaborazione con I-am srl, per il tramite di un assegno di ricerca RIPARTI (assegno di Ricerca per riPARTire con le Imprese - POC PUGLIA FESR-FSE 2014 / 2020 Fondo Sociale Europeo approvato con Decisione C(2015)5854 del 13/08/2015, coordinato da ARTI – Agenzia Regionale per la Tecnologia e l’Innovazione della Regione Puglia), che aveva l’obiettivo di effettuare una disamina dello stato dell’arte scientifico in materia di *Building Information Modelling* (BIM), *Asset Management* e *Digital Twin* con specifico focus sul settore delle infrastrutture idriche, al fine di identificare le tecnologie e metodologie al momento a disposizione degli enti gestori e degli operatori di settore.

1. INTRODUZIONE

Il XXI secolo è segnato da una quarta rivoluzione industriale (Industry 4.0), caratterizzata dalla pervasività del digitale e dei dati attraverso tecnologie quali IoT, big data, IA, realtà aumentata, blockchain, droni, ecc. Tutti i settori industriali stanno gradualmente adottando queste tecnologie, compreso il settore costruzioni.

In particolare, quando la trasformazione digitale della quarta rivoluzione industriale viene applicata nel settore infrastrutturale è possibile fare riferimento al termine: “Infrastruttura 4.0”[1]

Il ciclo di vita delle infrastrutture include le fasi di *Design* (D), *Construction* (C) e *Operations* (O) [2]. È inoltre importante considerare la fase di fine vita, che, per le infrastrutture di rete (stradali, ferroviarie, idrauliche, etc.) può coincidere con il dover pianificare una graduale dismissione di diverse tratte.

Per ogni fase del ciclo di vita, l’infrastruttura 4.0 deve affrontare diverse sfide: dall’integrazione di sensori con sistemi informativi vecchi e nuovi, alla trasmissione e archiviazione sicura del dato, all’utilizzo del dato raccolto. Queste sfide possono essere supportate dall’uso del BIM per la gestione delle informazioni, in quanto strumento efficace per integrare ed utilizzare efficacemente le informazioni relative all’*asset* [2].

Il *National Institute of Building Science* di Washington definisce il BIM come: “la rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto. Il principale valore aggiunto del BIM è il modo in cui raggruppa le informazioni provenienti da tutti gli *stakeholder* coinvolti, inclusi dati quali: geometria, ambiente, geografia, componenti, relazioni spaziali, costi, etc.”

Il BIM consente di fornire a un “*asset management system*” le informazioni rilevanti relative al funzionamento di un determinato bene [3].

Questa metodologia rende molto più efficiente la pianificazione, la progettazione, la costruzione e la gestione di edifici e infrastrutture ed è diventata un concetto centrale nella trasformazione digitale del settore delle costruzioni, oltre ad avere un impatto reale in termini di sostenibilità [4].

Il *Digital Twin* (DT) è definito come la prossima evoluzione del modello BIM [5] in quanto vi integra l’intelligenza artificiale, l’apprendimento automatico e l’analisi dei dati per creare modelli digitali dinamici in grado di apprendere e aggiornare lo stato della controparte fisica da più fonti [6]. Pertanto si può affermare che la gestione degli *asset* è abilitata dal BIM [6] e per comprendere a pieno la tematica di gestione degli *asset* infrastrutturali in un contesto di DT è necessario inizialmente approfondire il tema BIM.

2. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO

Le *Water Infrastructure* (WI) comprendono le strutture per il controllo, l'estrazione, l'immagazzinamento, il trattamento, il convogliamento e la distribuzione dell'acqua e gli associati impianti di sanificazione, trattamento, e smaltimento reflui. Comprendono infrastrutture di piccola, media e grande scala al servizio degli utenti urbani, industriali, agricoli e rurali, nonché dell'ambiente naturale [7].

L'applicazione del BIM alle infrastrutture idriche è stata meno affrontata dalla letteratura scientifica, rispetto ad altri tipi di infrastrutture [8].

Questo lavoro ha allora definito i seguenti obiettivi principali:

- fornire una visione chiara e sistematica dello stato dell'arte in materia di BIM e WI,
- evidenziare tendenze e lacune della materia,
- discutere criticamente le principali metodologie e tecnologie adottate nel settore, concentrandosi sulle applicazioni future e sui relativi ostacoli e opportunità.

3. L'INDAGINE SULLA LETTERATURA DI RIFERIMENTO

Per analizzare e discutere adeguatamente le conoscenze prodotte in merito al BIM nelle WI è stata condotta una *Systematic Literature Review* (SLR).

La SLR permette di identificare e valutare la produzione scientifica disponibile relativa a una particolare domanda di ricerca o fenomeno di interesse, attraverso l'uso di una metodologia riproducibile. Le domande di ricerca che hanno guidato questo studio sono state:

- allo stato attuale, quale è l'uso del BIM nel mondo delle WI?
- quali software di BIM *authoring* sono utilizzati per modellare le WI?
- quali sono i vantaggi e gli svantaggi nell'uso del BIM?
- quali paesi, allo stato attuale, hanno il maggior numero di progetti idrici gestiti in BIM?
- quanto il modello BIM viene usato per l'*Asset Management*?
- che correlazione c'è tra le tematiche BIM, WI e l'*asset management*?

Il primo passo per lo sviluppo della SLR è stato l'individuazione e la definizione delle parole chiave appropriate da utilizzare per reperire articoli scientifici su database dedicati, al fine di massimizzare l'efficacia dell'indagine relativa al dominio indagato. Nel caso specifico sono state scelte parole chiave molto generali per poter catturare quanti più articoli correlati con BIM e WI (BIM, WATER e SEWAGE).

La *review* della letteratura è stata condotta su due database indicizzati, rispettivamente Scopus e Web of Science e l'intervallo di tempo è stato fissato tra il 2012 e marzo 2023.

Scopus: il criterio utilizzato per identificare gli articoli di interesse è stato l'inclusione di parole chiave all'interno del filtro Article title, Abstract, Keywords considerando due diverse query:

- "BIM" and "Water"; il numero di articoli ottenuti in output è pari a 97;
- "BIM" and "Sewage"; il numero di articoli ottenuti in output è pari a 16.

Web of Science: Il criterio utilizzato per identificare gli articoli di interesse è stato l'inclusione di parole chiave all'interno del filtro Topic - Searches title, abstract, author keywords, and Keywords Plus considerando due diverse query:

- "BIM" and "Water"; il numero di articoli ottenuti in output è pari a 67;
- "BIM" and "Sewage"; il numero di articoli ottenuti in output è pari a 13.

Complessivamente, risultano quindi 193 documenti. I criteri di inclusione circa gli articoli reperiti sono stati quelli della lingua (italiano, inglese, spagnolo, tedesco, francese) e della pertinenza (a fronte di lettura e valutazione) "non pertinente" qualora non in linea con l'argomento di interesse. Sono state escluse le pubblicazioni non consultabili e quelle duplicate fra i due database di ricerca.

Applicando tali criteri il numero di articoli selezionati per formare la base di conoscenza da analizzare è stato ridotto a 61. È possibile visualizzare il workflow di quanto descritto in figura 1.

4. ANALISI DELLA BASE DI CONOSCENZA

La lettura di ciascun articolo definito pertinente è stata guidata da una lista di informazioni da ricercare:

- Tipo di articolo: puramente teorico, con descrizione di un caso applicativo o prevalentemente teorico con esempi di applicazione;
- Obiettivo generale dell'articolo
- Realizzazione/contributo alla conoscenza: indicazione del contenuto innovativo presentato
- Paese del caso di studio
- Componente trattato: indicazione della parte di infrastruttura idraulica trattata (rete di adduzione, stazione di pompaggio, WWTP, etc.)
- Uso del modello BIM: indicazione del motivo per cui il modello BIM viene creato (valutazione della sicurezza, analisi delle quantità e dei costi, modello informativo del progetto)
- Fase del ciclo di vita: indicazione della fase del ciclo di vita così come definito dal *PennState College of Engineering (Plan, Design, Construct, Operate)* come riportato in Figura 2;
- Software di *authoring* BIM usati: indicazione del software usato per la creazione del BIM;

- Data sources: indicazione della fonte del dato di partenza utilizzato per implementare il BIM (nuvola di punti, file dwg, rilievo fotogrammetrico, altro come sensori o attuatori);
- Altri software e tools usati: indicazione degli strumenti usati per la gestione informativa;
- Problematiche generali principalmente riguardanti la creazione del modello BIM evidenziate dallo studio;
- Asset Management: indicazioni circa la citazione e/o l’approfondimento della tematica in questione.

5. RISULTATI

Lo studio ha evidenziato come il BIM stia rivoluzionando l’approccio delle società idriche nelle varie fasi del ciclo di vita delle WI. L’adozione di tecnologie digitali, sempre più diffusa, riconosce ed evidenzia che il BIM rappresenta piuttosto un processo collaborativo in grado di apportare valore, efficienza e sicurezza. Con tale approccio l’intero ciclo di vita dell’infrastruttura è riconosciuto, come lo sono la gestione delle informazioni correlate ai singoli *asset* [9].

5.1 – Le fasi del ciclo di vita

Come rappresentato nel grafico in Figura 3 la maggior parte degli articoli si riferiscono alle fasi di progettazione e monitoraggio, talvolta affrontate in combinazione con le altre fasi. Solo due articoli considerano l’intero ciclo di vita dell’infrastruttura idraulica nonché la pianificazione, la progettazione, la costruzione e il monitoraggio.

5.2 – La distribuzione geografica

Dalla distribuzione geografica dei casi d’uso dei sessantuno articoli considerati pertinenti, escludendo quegli undici che non li riportano, è emerso che la maggior localizzazione in Cina (21 casi). Quattro sono localizzati in Egitto e nel Regno Unito. Infine, tre sia in Australia sia in Brasile.

5.3 Software di BIM *authoring* utilizzato

In tabella 1 è rappresentata un’analisi dei risultati circa le case produttrici dei software di BIM *authoring* utilizzati.

Autodesk Revit (nelle sue diverse versioni) è quello più usato. Nonostante metta a disposizione strumenti per la modellazione meccanica e idraulica, la letteratura ne evidenzia il limite per la progettazione delle WI. Non vi rileva, infatti, una predisposizione per l’ingegneria civile (strade e infrastrutture in generale). La gestione completa del sistema in tutte le sue fasi

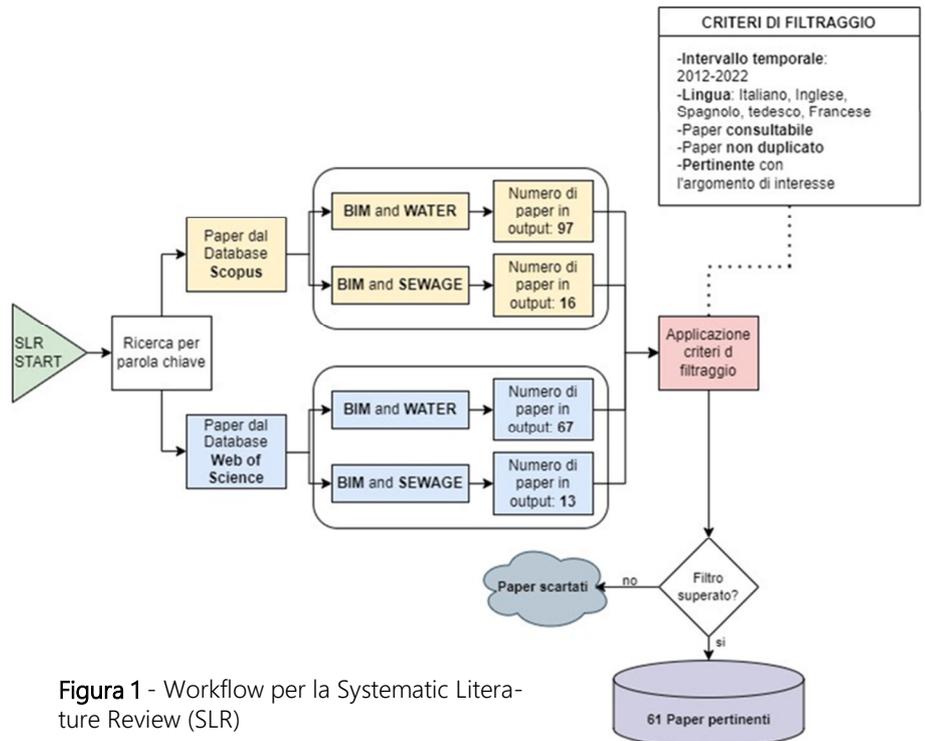


Figura 1 - Workflow per la Systematic Literature Review (SLR)

del ciclo di vita è garantita attraverso l’uso combinato di Revit con Autocad, Infracad, Navisworks, BIM360, Plant 3D (tutti della software house Autodesk).

Tabella 1 - Software di BIM *authoring* utilizzato

Software BIM utilizzato	
SW non citato espressamente	27
Autodesk	30
Bentley	2
Sketchup	1
Fuzor	1
Totale	61

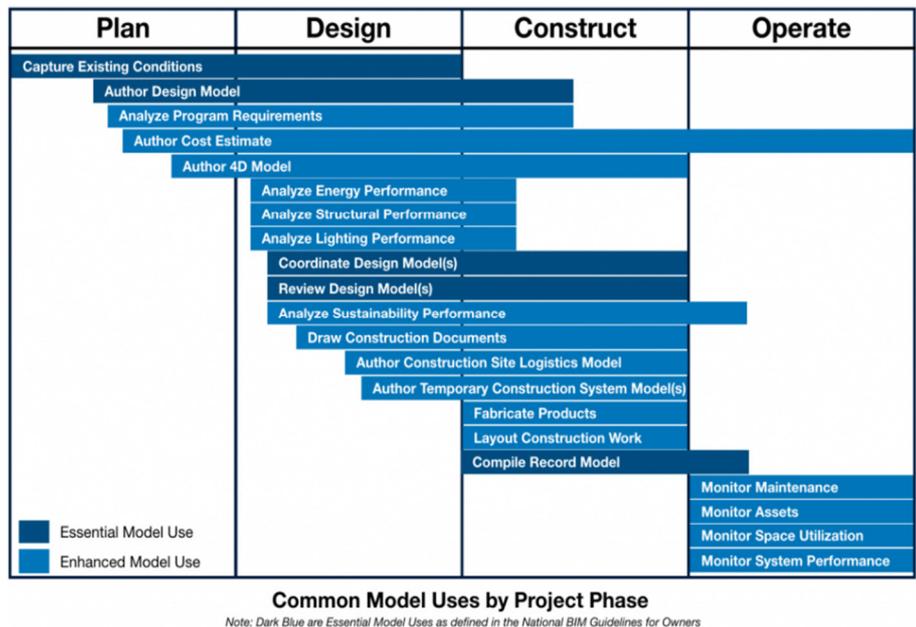


Figura 2 - Usi comuni del modello BIM per fase del progetto

5.4 Le tendenze

Tecnologie avanzate per la modellazione e la pianificazione delle scansioni 3D

Più articoli hanno come oggetto la ricostruzione dei modelli BIM dello stato attuale delle WI. Per fare ciò utilizzano le potenzialità del *deep learning*, della segmentazione semantica e delle nuvole di punti LiDAR. Si tratta di un approccio con numerosi vantaggi chiave nel processo di scansione e ricostruzione, che migliora significativamente precisione e efficienza complessiva. In [10], la tecnologia che implementa UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) equipaggiati con LiDAR si basa sulla creazione di una mappa probabilistica 3D, che divide lo spazio di rilievo in voxel (unità di misura del volume) per garantire una copertura ottimizzata e traiettorie a basso consumo energetico. L’implementazione di questo approccio ha portato a una notevole riduzione dei tempi di scansione e ha consentito di raggiungere un’eccezionale copertura del 91,67% sulla struttura bersaglio, come confermato dalla validazione in ambiente virtuale.

La figura 4 descrive la metodologia dettagliata del quadro proposto dagli autori. La fase di pianificazione consiste di cinque passaggi: costruzione della mappa, pianificazione della scansione, individuazione del percorso, generazione della traiettoria e controllo del volo.

In [11] gli autori propongono un quadro concettuale per lo sviluppo di una strategia per i proprietari degli *asset* per creare valore e garantire una migliore gestione degli *asset* (con focus su tempi e costi) grazie all’uso della metodologia SCAN-to-BIM.

Questo tipo di tecnologie vengono inoltre utilizzate nella fase di ispezione delle WI con caso studio sulla rilevazione dei canali d’acqua attraverso un approccio automatizzato di estrazione delle informazioni dai video aerei che si basa su algoritmi avanzati come SURF e MSAC. Questi algoritmi mirano all’identificazione dei punti chiave, alla rimozione dei valori anomali e alla migliorata accuratezza del processo di estrazione. Quanto esposto permette il rilevamento tempestivo e affidabile dei pericoli [14].

Uso del modello BIM nelle WI

La metodologia BIM rappresenta una possibilità di innovazione tecnologica e progresso nella produttività delle presentazioni del progetto. Uno dei pionieri del concetto fu Chuck Eastman, professore al *Georgia Insti-*

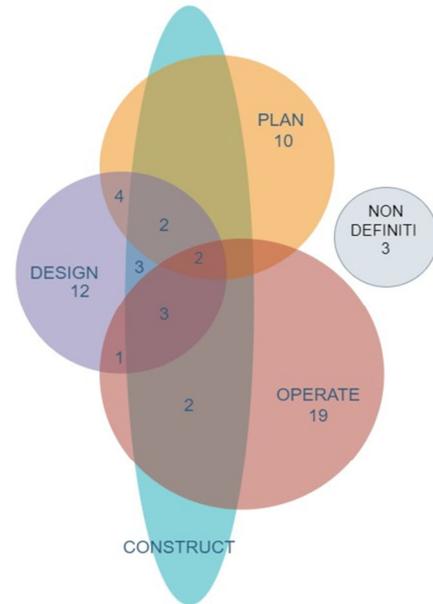


Figura 3 – Analisi dei risultati “Fasi del ciclo di vita” considerate dai singoli paper.

tute of Technology negli Stati Uniti [12].

La tecnologia BIM è ampiamente utilizzata negli edifici residenziali ordinari, ma l’uso del BIM per i progetti idrici è ancora molto limitato [13].

Una delle maggiori sfide è rappresentata dalla tecnologia da adottare. Le WI dipendono da un’ampia varietà di apparecchiature (pompe, motori, generatori, ecc.) che generalmente vengono realizzate unità per unità in base ai parametri di progettazione e/o in base ai parametri rilevati. Ciò implica che la libreria di oggetti BIM che vanno a comporre il modello venga continuamente rivista e aggiornata in ogni progetto. Si stima che circa il 40-25% dei modelli di apparecchiature dovrebbero essere ricostruiti in ciascun progetto [14].

Il software Revit, che dalla *review* di letteratura si configura come quello maggiormente usato, permette di modellare anche “pezzi speciali”; La struttura complessa può essere scomposta in parti strutturali semplici, rispettivamente per stabilire modelli parametrici e infine combinarli come un’intera struttura.[15]

Le tipologie di WI di cui è stato prodotto il modello nei paper analizzati, con gradi di dettaglio diversi, spaziano dall’impianto di trattamento delle acque, alle strutture di raccolta dell’acqua piovana, a dighe, a stazioni di pompaggio.

L’articolo [16], ad esempio, si occupa della modellazio-

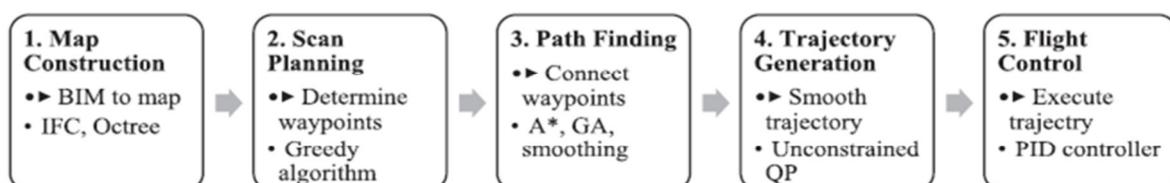


Figura 4 – Workflow della fase di pianificazione

ne di un bacino di servizio in calcestruzzo prefabbricato.

Il modello BIM è stato utilizzato in maniera efficace dal team di progettazione per la produzione dei piani di emergenza e l'aggiornamento continuo delle informazioni (l'implementazione dei dati giornalieri provenienti dal sito ha aiutato notevolmente nello sviluppo delle diverse soluzioni). Oltre alla modellazione *as-built*, il BIM svolge un ruolo importante nel supportare le scelte progettuali iniziali fornendo diverse opzioni iniziali per lo schema di impianto, compresi i layout delle tubazioni, l'orientamento e il rilevamento delle collisioni. Il modello viene utilizzato regolarmente in cantiere per informare la squadra di costruzione e fornire loro una comprensione più chiara dell'attività che avrebbero svolto. [16]

L'avvento delle nuove tecnologie nelle aree rurali e nello specifico nella gestione idrica delle comunità rurali è limitato. Uno spazio non limitato e la necessità di progettare l'ambiente circostante rappresentano alcune delle difficoltà nell'implementazione della tecnologia BIM alle aree rurali [17].

Uno dei principali problemi del mondo attuale è la mancanza di disponibilità di acqua dolce nelle città a causa del rapido aumento della popolazione. Per soddisfare il fabbisogno idrico, gli scienziati stanno esplorando diversi modi per migliorare la capacità di ricarica delle acque sotterranee. Una di queste soluzioni è l'uso della tecnologia BIM per identificare più strutture che possono essere costruite per fornire la potenziale ricarica. Bonenberg e Wei [29] hanno utilizzato strumenti BIM per simulare sistemi di raccolta dell'acqua piovana e di circolazione dell'acqua durante la fase di progettazione, utilizzando un tetto a falde per raccogliere l'acqua piovana in seguito immagazzinata in un grande spazio di stoccaggio sotterraneo. L'acqua piovana raccolta è stata utilizzata per l'irrigazione o altre misure di efficienza energetica. Lu et al. [30] hanno sottolineato che il BIM ha supportato principalmente l'analisi del consumo idrico durante la fase di progettazione. Pertanto, il software BIM ha contribuito a ottimizzare il sistema di distribuzione idrica degli edifici [18].

Gli ostacoli all'implementazione del BIM

In [22] gli autori sostengono che esistano due ostacoli all'implementazione di questa tecnologia nella produzione di progetti idraulici e sanitari:

- la scarsità di studi relativi all'uso del BIM per la gestione del processo di progettazione di questi sistemi
- la mancanza di componenti BIM che rappresentino sistemi decentralizzati di trattamento delle acque reflue

In [16] gli autori sostengono invece che fra gli ostacoli dell'implementazione della tecnologia BIM ci siano:

- la necessità di disporre di postazioni di lavoro performanti,

- la scarsa condivisione delle informazioni tra alcuni collaboratori,
- l'assenza di alcune fonti dati per arricchire ulteriormente il progetto di informazioni semantiche
- la scarsità di riferimenti per progetti simili che trattano il BIM per le infrastrutture.

I benefici emersi:

L'uso della tecnologia BIM permette un risparmio di costi e tempo. Inoltre, fornisce anche una preziosa esperienza per la realizzazione di componenti in altre stazioni di pompaggio. L'applicazione della tecnologia BIM ha svolto un ruolo positivo nel mondo della costruzione idraulica [22].

La creazione del modello BIM supporta l'individuazione tempestiva delle problematiche. Inoltre, la creazione di un modello 4D con la rappresentazione della fase di costruzione può supportare il controllo dello sviluppo dell'attività in cantiere e seguire facilmente la pianificazione strutturale. In [15] una volta progettate virtualmente tutte le strutture e stabiliti i relativi parametri, tutte le parti di determinate strutture sono state simulate insieme e sono stati controllati i test sui modelli per verificare che le strutture fossero adeguatamente pianificate, sviluppate e simulate insieme.

Intelligent management e Asset management per una gestione avanzata

Nel contesto della gestione delle risorse idriche, l'uso dei modelli BIM può rivestire un ruolo cruciale. La metodologia BIM 5D, integrando modelli creati in Revit con diagrammi di Gantt e Navisworks, rappresenta un avanzamento significativo nella pianificazione e nel controllo dei progetti. Questo approccio innovativo consente analisi dettagliate dei prezzi unitari e lo sviluppo di tempistiche più precise, garantendo la qualità e l'ottimizzazione delle risorse [19].

In [20] viene descritto lo sviluppo dell'applicazione software maXrii, con l'obiettivo principale di integrare il BIM7D di un impianto di depurazione delle acque (WWTP) utilizzando tecnologie immersive come *Extended Reality* (XR), *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR) e *Mixed Reality* (MR).

Questa applicazione non solo offre un modo intuitivo e semplice di visualizzare in tempo reale lo stato dell'impianto, ma consente anche di monitorarlo da una posizione remota o all'interno dell'edificio. Si tratta di un passo avanti significativo nella gestione intelligente degli impianti.

Esaminando il panorama internazionale, si trova l'esempio di Aegea, un gruppo privato di servizi idrici e fognari in Brasile, che ha intrapreso la strada della digitalizzazione.

Attraverso l'integrazione di BIM e *Asset Management*, in una piattaforma denominata *Infra Inteligente* (Infra), Aegea introduce modelli 3D intelligenti che attivano il

DT per la visualizzazione di dati e la conduzione di analisi per manutenzione predittiva. Questo approccio proattivo alla manutenzione permette di risparmiare milioni di Reais brasiliani, estendendo la vita delle risorse critiche e prevenendo guasti imprevedibili [21].

Nel contesto dell'implementazione del BIM nell'*Asset Management* degli impianti idrici, si è di fronte a una prospettiva innovativa che supera le barriere tradizionali delle pratiche di gestione delle risorse idriche [3].

Integrazione BIM e Water Distribution Network (WDN)

Le reti di servizi costituiscono una parte fondamentale dei complessi sistemi urbani. Il deterioramento delle infrastrutture dei servizi idrici e la bassa ridondanza dei percorsi comportano la fragilità della rete e quindi interruzioni della fornitura in caso di guasto delle risorse. In questo contesto in [22] gli autori hanno sviluppato un algoritmo per dedurre le connessioni della rete idrica tra WDN su scala urbana e modelli BIM. Il metodo presenta potenzialità di trasferibilità alle infrastrutture per altre risorse di servizi pubblici (come acque reflue, elettricità e gas).

Il flusso utilizza tre dati di origine:

- la distribuzione dei tubi;
- l'impronta delle costruzioni;
- il BIM tubazioni.

Il metodo presentato dimostra la fattibilità di derivare topologie di reti idriche transfrontaliere utilizzando rappresentazioni spaziali delle risorse delle tubazioni nei dati BIM meccanici, elettrici e idraulici e nella rete di distribuzione idrica geospaziale (WDN). Il metodo fornisce una base per l'utilizzo dei dati BIM per supportare l'ottimizzazione della partizione dinamica della rete, ridurre il rischio di interruzioni dei servizi sotterranei e massimizzare la ridondanza di instradamento delle future configurazioni di rete; ciò potrebbe far parte di un processo decisionale più ampio che prevede la collaborazione tra società di servizi pubblici e costruttori edili.

L'algoritmo identifica correttamente una connessione tra risorse attraverso un'analisi spaziale-topologica facendo emergere la vulnerabilità della geolocalizzazione dei modelli BIM agli errori nei singoli punti di riferimento. Il metodo di inferenza fornisce uno strumento per identificare possibili beni di utilità sconosciuta che sono a rischio di interruzioni dovuti agli scavi [22].

Decision Support Systems (DSS)

Sta crescendo il riconoscimento delle intersezioni tra le infrastrutture fisiche e digitali (DT) e quelle dei *Decision Support Systems* (DSS), in particolare i DT su scala urbana e i DSS progettati per supportare il processo decisionale su scala cittadina [23]

L'adattamento dell'infrastruttura DT, per consentire processi decisionali sulla progettazione urbana, che tipicamente consistono in una serie di domande *What-if* e richiedono modifiche degli attuali ambienti urbani per

testare e valutare vari scenari di progettazione, presenta una serie di sfide che, se implementato in modo improprio, può interrompere il nesso tra i flussi di dati e l'ambiente originale o esistente da cui sono stati raccolti. In questo caso è stato utilizzato

Autodesk 3Ds Max™ per la modellazione degli edifici poi inseriti nel *framework* DT tramite Cesium Ion™, una piattaforma di dati geospaziali 3D, utilizzando il formato file glTF. Le immagini aeree non risultano adatte a visualizzare la rete stradale poiché le strutture del ponte e del cavalcavia erano mappate sul piano terra. ESRI City Engine, un software di generazione stradale, ha permesso di ridimensionare questo problema [23].

Water Total Management Plans (TMPS)

In Australia, il governo del Queensland (QLD) ha creato e raccomandato i piani di gestione totale dell'acqua (TMP) del QLD per promuovere la pianificazione delle migliori pratiche e risultati a basso costo per la pianificazione dell'approvvigionamento idrico e delle reti fognarie. Un TMP quantifica e valuta la condizione delle risorse, dà priorità alla spesa e identifica le opzioni per il risparmio e il miglioramento dei costi in modi sostenibili dal punto di vista ambientale e finanziario. Questa ricerca adotta i quattro elementi critici identificati dai TMP per la gestione di un impianto di trattamento delle acque:

- gestione delle risorse;
- del rischio;
- dei dati;
- della comunicazione.

Per le WI, l'uso della metodologia BIM svolgerebbe un ruolo significativo per la capacità di gestione "intelligente" delle risorse con l'integrazione di una grande quantità di informazioni e dati accumulati nelle fasi precedenti del ciclo di vita delle risorse e con le informazioni che appaiono durante la manutenzione delle risorse. È necessario allineare il BIM con dati, informazioni, strategie digitali e sicurezza in tutti i fattori per realizzare a pieno i potenziali vantaggi e risparmi operativi. È stato creato il modello *WebShare* per facilitare l'approccio alla gestione patrimoniale. Questo modello è facile da usare e consente un ambiente dati comune (CDE) in cui tutti i professionisti coinvolti nel progetto e nella manutenzione hanno accesso agli stessi dati contemporaneamente, attraverso l'utilizzo della piattaforma di visualizzazione 3D basata su Scene WebShare cloud di FARO. Si tratta di un modello congiunto che include i dati della nuvola di punti prima caricati su Revit (per il modello architettonico/strutturale) e poi su Plant 3D (per la simulazione dei processi dell'impianto). Le caratteristiche del modello principale sono le seguenti:

- il modello può essere costruito sopra le immagini della nuvola di punti, che hanno una disposizione precisa dell'area del caso di studio;

- è possibile includere la maggior parte delle informazioni sugli asset ed è anche possibile la simulazione all'interno del modello;
- a causa della complessa interazione del modello e della necessità di un costante scambio di dati tra Revit, dati della nuvola di punti e Plant 3D, l'interazione per l'utente è difficile e richiede molto tempo.

6. DISCUSSIONE

Le WI a livello mondiale e in Italia sono soggette a diverse sfide e opportunità, influenzate da fattori geografici, climatici, economici e politici. In Italia, in particolare, le WI presentano un livello di obsolescenza significativo. Numerose reti idriche, datate, necessitano di interventi di modernizzazione e manutenzione. Pur disponendo di risorse idriche relativamente abbondanti, il Paese ha dovuto affrontare sfide gestionali, tra cui la necessità di un uso sostenibile delle risorse e una gestione efficace delle inondazioni. È imperativo adattare le infrastrutture per affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici. Nonostante l'abbondanza di risorse idriche, alcune regioni italiane, specialmente durante periodi di siccità, hanno dovuto affrontare criticità legate alla sicurezza idrica. La gestione attenta delle risorse idriche diventa cruciale per prevenire situazioni di scarsità e garantire una gestione sostenibile nel lungo termine.

Dall'analisi condotta emerge l'importanza dell'integrazione della metodologia BIM per la gestione efficiente e sostenibile delle risorse.

Il BIM si configura come la possibile spina dorsale digitale del processo, fornendo modelli tridimensionali intelligenti che abbracciano il ciclo di vita completo di un progetto. Questa tecnologia non solo ottimizza la fase progettuale, ma costituisce un ponte cruciale verso l'infrastruttura intelligente del futuro, fornendo una piattaforma integrata per la collaborazione, la visualizzazione e l'analisi.

Le WI, fondamentali per il benessere delle comunità, possono trarre vantaggio dall'applicazione del BIM per la progettazione e la gestione delle reti idriche. L'utilizzo di modelli BIM integrato a tecnologie digitali innovative facilita la previsione e l'ottimizzazione dei flussi idrici, migliorando la qualità delle infrastrutture e riducendo il rischio di interruzioni delle utenze.

L'*Asset Management*, integrato con il BIM, svolge un ruolo cruciale nella pianificazione strategica e nell'operatività quotidiana delle WI. La gestione avanzata degli asset, supportata da dati accurati e tempestivi, consente la manutenzione preventiva, prolungando la vita utile degli impianti e riducendo i costi a lungo termine.

Questo approccio sinergico non solo migliora la resilienza e l'efficienza delle infrastrutture, ma offre anche un quadro completo per la presa di decisioni informate. In un mondo sempre più complesso e interconnesso, la convergenza di BIM, WI e *Asset Management* non solo

rappresenta una necessità, ma una chiave per un futuro sostenibile e intelligentemente gestito.

Al momento, vi sono ancora delle grandi sfide da affrontare per l'integrazione tecnologica. Dall'analisi emerge:

- complessità di modellazione BIM delle reti idriche,
- difficoltà nell'integrazione di dati esistenti,
- mancanza di standardizzazione nei processi e nei protocolli BIM per l'asset idrico,
- addestramento del personale,
- investimenti iniziali significativi,
- difficoltà di collaborazione tra diverse discipline coinvolte (problemi di accesso, controllo delle versioni e sicurezza), complessità nella digitalizzazione di pratiche e controlli automatici basati su leggi e normative locali.

Affrontare queste sfide richiede una strategia olistica, che coinvolga tutti gli attori interessati al ciclo di vita delle WI e promuova la standardizzazione, la formazione e la collaborazione aperta

7. CONCLUSIONI

La panoramica dello stato attuale circa l'applicazione della metodologia BIM alle WI qui fornita evidenzia la crescente importanza delle soluzioni digitali, i possibili vantaggi e benefici oltre che le difficoltà nella loro attuazione.

Si sente il bisogno, tuttavia, di continuare a studiare le specifiche tendenze emerse e a fornire un confronto fra quanto proposto a livello di potenzialità con quanto effettivamente realizzato dai soggetti del settore.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Y. C. Sari, C. A. Wahyuningrum, e N. C. Kresnanto, «Building Information Modeling (BIM) for Dams-Literature Review and Future Needs», *Journal of the Civil Engineering Forum*, vol. 6, fasc. 1, p. 61, gen. 2020, doi: 10.22146/jcef.51519.
- [2] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, e P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018. doi: 10.1002/9781119287568.
- [3] T. Borangiu, D. Trentesaux, P. Leitão, A. Giret Boggino, e V. Boti, A. c. di, *Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future: Proceedings of SO-HOMA 2019*, vol. 853. in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 853. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-27477-1.
- [4] E. Suprun, R. A. Stewart, S. Mostafa, O. Sahin, e E. Bertone, «Integrating Lifecycle Thinking in Asset Management Through BIM: Opportunities for the Water Sector», in *The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, K. Panuwatwanich e C.-H. Ko, A. c. di, in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 81–88. doi: 10.1007/978-981-15-1910-9_7.
- [5] Cemex Ventures, «BIM Process & Lifecycle In Construction». Consultato: 10 dicembre 2023. [Online]. Disponibile su:

- <https://www.cemexventures.com/discover-how-bim-is-implemented-in-each-phase-of-the-construction-industry/>
- [6] GWP, «POLICY BRIEF 7 - Investing in infrastructure: The value of an IWRM approach», GWP: Global Water Partnership, 2009. Consultato: 5 febbraio 2024. [Online]. Disponibile su: <https://policycommons.net/artifacts/2135704/policy-brief-7-investing-in-infrastructure/2891002/>
- [7] S. Wajhi, A. Qureshi, M. Kamran, A. Qadeer, e T. Tahir, «Challenges in Wide-Spread Adoption & Implementation of Building Information Modelling (BIM) on Infrastructure Projects. 2019.
- [8] M.-H. Shin, J.-H. Jung, e H.-Y. Kim, «Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process», *Buildings*, vol. 12, fasc. 9, p. 1476, set. 2022, doi: 10.3390/buildings12091476.
- [9] A. Bradley, H. Li, R. Lark, e S. Dunn, «BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective», *Automation in Construction*, vol. 71, pp. 139–152, nov. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.08.019.
- [10] B. Kitchenham, «Procedures for Performing Systematic Reviews», lug. 2004.
- [11] G. Yang, K. Lao, W. Liu, X. Wang, T. Liu, e Z. Li, «BIM Execution Plan Compilation and Application in Singapore TUAS Water Reclamation Plant», in *2022 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)*, Xi'an, China: IEEE, apr. 2022, pp. 1432–1436. doi: 10.1109/ICSP54964.2022.9778387.
- [12] C. Song, Z. Chen, K. Wang, H. Luo, e J. C. P. Cheng, «BIM-supported scan and flight planning for fully autonomous LiDAR-carrying UAVs», *Automation in Construction*, vol. 142, p. 104533, ott. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104533.
- [13] E. Suprun, S. Mostafa, R. A. Stewart, H. Villamor, K. Sturm, e A. Mijares, «Digitisation of Existing Water Facilities: A Framework for Realising the Value of Scan-to-BIM», *Sustainability*, vol. 14, fasc. 10, p. 6142, mag. 2022, doi: 10.3390/su14106142.
- [14] J. Chen, «Extracting water channels from aerial videos based on image-to-BIM registration and spatio-temporal continuity», *Automation in Construction*, p. 15, 2021.
- [15] M. A. Dariva e A. Araujo, «Implementation, Performance and Waste Management Analysis of Decentralized Wastewater Treatment Systems Using BIM Technology», in *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, vol. 98, E. Toledo Santos e S. Scheer, A. c. di, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 98. , Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 297–319. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_22.
- [16] Z. Jingya, C. Rong, X. Di, e Z. Wei, «A summary of bim cases based on paihekou pump station», *E3S Web Conf.*, vol. 136, p. 03026, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201913603026.
- [17] H. Kamal, M. Bahgat, e A. Ltd, «IMPLEMENTATION OF AUTODESK REVIT® IN DESIGN OF WATER TREATMENT PLANTS», *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 205, p. 8, 2021.
- [18] J. Wang, X. Han, M. Qun, e F. Luan, «Research on the Application of BIM in Sewage Treatment Project», in *Proceedings of the 2016 5th International Conference on Sustainable Energy and Environment Engineering (ICSEEE 2016)*, Zhuhai, China: Atlantis Press, 2016. doi: 10.2991/icseee-16.2016.28.
- [19] A. Pepper e British Dam Society, A. c. di, *Maintaining the safety of our dams and reservoirs: proceedings of the 18th Biennial Conference of the British Dam Society at Queen's University*, Belfast, from 3-6 September 2014. London: ICE Publishing/Thomas Telford Ltd, 2014.
- [20] R. K. Raya e R. Gupta, «Rural community water management through directional tunnelling: visual modelling of rainwater harvesting system», *Water Practice and Technology*, vol. 15, fasc. 3, pp. 734–747, set. 2020, doi: 10.2166/wpt.2020.060.
- [21] A. Maqsoom, H. B. Rashid, B. Aslam, H. Ashraf, M. Abid, e A. Ejaz, «BUILDING INFORMATION MODELING APPLICATION FOR GROUNDWATER RECHARGE: DEVELOPMENT OF MULTIPLE STRUCTURES», *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 19, fasc. 6, pp. 935–945, 2020, doi: 10.30638/eemj.2020.088.
- [22] M. A. Dariva e A. Araujo, «Implementation, Performance and Waste Management Analysis of Decentralized Wastewater Treatment Systems Using BIM Technology», in *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, vol. 98, E. Toledo Santos e S. Scheer, A. c. di, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 98. , Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 297–319. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_22.
- [23] M. Bouziani, H. Mouatassim, K. Fadl, e H. Nouari, «DEVELOPMENT OF A BIM INFRASTRUCTURE WORKFLOW ADAPTED TO FACILITIES OF LAND SUBDIVISION PROJECTS IN MOROCCO», p. 5, 2021.
- [24] J. J. Arroyo Orozco e D. P. Rendón González, «Aplicación De La Metodología BIM 5D En La "Planta De Tratamiento De Agua Potable Para La Parroquia La Aurora"», in *Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development" "Leveraging emerging technologies to construct the future"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2021. doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.186.
- [25] A. Carrera-Monterde, V. Gomez-Jauregui, C. Manchado, e C. Otero, «Monitoring Industrial Plants from BIM Models with Extended Reality», in *Advances in Design Engineering II*, F. Cavas Martínez, G. Peris-Fajarnes, P. Morer Camo, I. Lengua Lengua, e B. Defez García, A. c. di, in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. , Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 11–19. doi: 10.1007/978-3-030-92426-3_2.
- [26] E. Toledo Santos e S. Scheer, A. c. di, *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering: ICCBE 2020*, vol. 98. in *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 98. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8.
- [27] T. Gilbert, P. James, L. Smith, S. Barr, e J. Morley, «Topological integration of BIM and geospatial water utility networks across the building envelope», *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 86, p. 101570, mar. 2021, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2020.101570.
- [28] N. Langenheim et al., «ADAPTING A DIGITAL TWIN TO ENABLE REAL-TIME WATER SENSITIVE URBAN DESIGN DECISION-MAKING», *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLVIII-4/W4-2022, pp. 95–100, ott. 2022, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W4-2022-95-2022.
- [29] Bonenberg W., Wei X., (2015), *Green BIM in sustainable infrastructure*, *Procedia Manufacturing*, 3, 1654-1659
- [30] Lu Y., Wu Z., Chang R., Li Y., (2017), *Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions*, *Automation in Construction*, 83, 134-148.